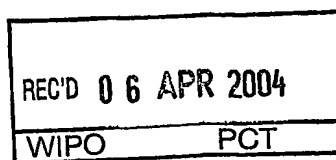


22 MAR 2004

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PCT/EP2004/002619



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 18 646.8

**Anmeldetag:** 24. April 2003

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft,  
80333 München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Steuern eines Kraftstoffdrucks in  
einer Zuführungseinrichtung für Kraftstoff einer  
Brennkraftmaschine

**IPC:** F 02 D, F 02 M

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. März 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Stanschus

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

## Beschreibung

Verfahren zum Steuern eines Kraftstoffdrucks in einer Zuführungseinrichtung für Kraftstoff einer Brennkraftmaschine

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Kraftstoffdrucks in einer Zuführungseinrichtung für Kraftstoff einer Brennkraftmaschine.

10 Aus dem Handbuch Verbrennungsmotor, Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 2002, ISBN 3-528-03933-7, Seite 402, ist eine Zuführeinrichtung für Kraftstoff einer Brennkraftmaschine bekannt. Die Zuführeinrichtung weist eine Kraftstoffpumpe auf, die Kraftstoff in  
15 einen Kraftstoffspeicher pumpt, der Einspritzventile mit Kraftstoff versorgt und der mit einem Regulatorventil verbunden ist, das abhängig von einem Stellsignal einer Motorsteuerung den Kraftstoffdruck einstellt. Das Dokument enthält jedoch keinen Hinweis, wie die Ansteuerung des Regulatorventils erfolgen soll.  
20

Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Steuern eines Kraftstoffdrucks in einer Zuführeinrichtung für Kraftstoff einer Brennkraftmaschine zu schaffen, welches gewährleistet, dass unabhängig von dem Betriebszustand der Brennkraftmaschine der Kraftstoffdruck präzise einstellbar ist.  
25

Die Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.  
30

Der Erfindung liegt die Kenntnis zu Grunde, dass bei einer hohen Dynamik des Durchflusses des Kraftstoffes durch das Regulatorventil unerwünschte Drucküberhöhungen auftreten, wenn  
35 das Stellsignal für das Regulatorventil lediglich unter Berücksichtigung eines stationären Durchflusses des Kraftstoffs durch das Regulatorventil eingestellt wird. Eine derartige

hohe Dynamik des Durchflusses des Kraftstoffes durch das Regulatorventil tritt in der Regel auf, wenn die Brennkraftmaschine von einem Betriebszustand des Normalbetriebs in den Leerlauf oder Schubabschalten oder umgekehrt gesteuert wird.

5 Bei solchen Übergängen des Betriebszustandes kann dann der Kraftstoffdruck nur sehr ungenau eingestellt werden. Durch das Ermitteln des Stellsignals für das Regulatorventil abhängig von einem gewünschten Kraftstoffdruck und einer die Dynamik des Durchflusses des Kraftstoffes durch das Regulatorventil charakterisierenden Größe kann auf einfache Weise eine  
10 sehr präzise Einstellung des Kraftstoffdruckes unabhängig von dem Betriebszustand der Brennkraftmaschine erfolgen.

15 In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Dynamik des Durchflusses des Kraftstoffes durch das Regulatorventil charakterisierende Größe die Änderung des Durchflusses, welches eine sehr einfach bestimmbare Größe ist.

20 In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die die Dynamik des Durchflusses des Kraftstoffes durch das Regulatorventil charakterisierende Größe die Änderung des Kraftstoffdruckes. Dies ist besonders einfach, da in der Regel ohnehin ein Drucksensor zum Erfassen des Kraftstoffdrucks in der Zuführeinrichtung für Kraftstoff vorhanden ist und so  
25 einfach dessen Messsignal ausgewertet werden kann.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind im Folgenden anhand der schematischen Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

30 Figur 1 eine Brennkraftmaschine mit einer Zuführungseinrichtung für Kraftstoff,

Figur 2 ein Ablaufdiagramm eines Programms zum Steuern eines Kraftstoffdrucks in der Zuführeinrichtung für Kraftstoff einer Brennkraftmaschine gemäß Figur 1,  
35 und

Figur 3 beispielhafte Verläufe des Kraftstoffdrucks und des Durchflusses am Regulatorventil.

Elemente gleicher Konstruktion und Funktion sind figurenübergreifend mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

- 5 Eine Brennkraftmaschine (Figur 1) umfasst einen Ansaugtrakt 1, einen Motorblock 2, einen Zylinderkopf 3 und einen Abgas-  
trakt 4. Der Motorblock umfasst mehrere Zylinder, welche Kol-  
ben und Pleuelstangen haben, über die sie mit einer Kurbel-  
welle 21 gekoppelt sind.

10

Der Zylinderkopf umfasst einen Ventiltrieb mit einem Einlass-  
ventil, einem Auslassventil und Ventilantrieben. Der Zylind-  
derkopf 3 umfasst ferner ein Einspritzventil 34 und eine  
Zündkerze. Alternativ kann das Einspritzventil auch in dem  
15 Ansaugtrakt 1 angeordnet sein.

20

Ferner ist eine Zuführeinrichtung 5 für Kraftstoff vorgese-  
hen. Sie umfasst einen Kraftstofftank 50, der über eine erste  
Kraftstoffleitung mit einer Niederdruckpumpe 51 verbunden  
ist. Ausgangsseitig ist die Niederdruckpumpe 51 hin zu einem  
Zulauf 53 einer Hochdruckpumpe 54 wirkverbunden. Ferner ist  
auch ausgangsseitig der Niederdruckpumpe 51 ein mechanischer  
Regulator 52 vorgesehen, welcher ausgangsseitig über eine  
weitere Kraftstoffleitung mit dem Tank verbunden ist. Der me-  
25 chanische Regulator ist vorzugsweise ein einfaches federbe-  
lastetes Ventil in der Art eines Rückschlagventils, wobei  
dann die Federkonstante so gewählt ist, dass in dem Zulauf 53  
ein vorgegebener Niederdruck nicht überschritten wird. Die  
Niederdruckpumpe 51 ist vorzugsweise so ausgelegt, dass sie  
30 während des Betriebs immer eine so hohe Kraftstoffmenge lie-  
fert, dass der vorgegebene Niederdruck nicht unterschritten  
wird.

30

Der Zulauf 53 ist hin zu der Hochdruckpumpe 54 geführt, wel-  
35 che ausgangsseitig den Kraftstoff hin zu einem Kraftstoff-  
speicher 55 fördert. Die Hochdruckpumpe 54 wird in der Regel  
von der Kurbelwelle 21 oder der Nockenwelle angetrieben und

fördert somit bei konstanter Drehzahl der Kurbelwelle 21 ein konstantes Kraftstoffvolumen in den Kraftstoffspeicher 55.

Die Einspritzventile 34 sind mit dem Kraftstoffspeicher 55  
5 wirkverbunden. Der Kraftstoff wird somit den Einspritzventilen 34 über den Kraftstoffspeicher 55 zugeführt.

Ferner ist ein elektromagnetischer Regulator 56 mit dem im Kraftstoffspeicher 55 wirkverbunden. Über den elektromagnetischen Regulator 56 kann Kraftstoff von dem Kraftstoffspeicher 55 zurück über eine Rückführleitung 57 zum Zulauf 53 fließen.  
10 Der elektromagnetische Regulator hat einen zylinderförmigen Kern mit einer Zylinderspule, der innen einen zylinderförmigen Hohlraum aufweist. In diesem zylinderförmigen Hohlraum  
15 ist ein zylinderförmiger Anker mit einer Führungsstange eingebracht, die dann den freien Strömungsquerschnitt von dem Druckspeicher 55 hin zu dem Rücklauf 57 mehr oder weniger frei gibt abhängig von ihrer Stellung. Der Aufbau des elektromagnetischen Regulators entspricht somit dem eines Tauchankers.  
20 Je nach der eingestellten Bestromung der Zylinderspule wird so der Kraftverlauf zum Verschieben des zylinderförmigen Ankers entsprechend einer veränderlichen Federkonstante eingestellt. So kann abhängig von dem Stellsignal, mit dem der elektromagnetische Regulator 56 angesteuert wird, also beispielsweise der Bestromung, der Kraftstoffdruck in dem Druckspeicher 55 eingestellt werden.  
25

Der Öffnungsquerschnitt des Regulatorventils hängt somit zum einen ab von der magnetischen Kraft, die auf den zylinderförmigen Anker wirkt und zum anderen von der Kraft, die abhängt  
30 von dem tatsächlichen Istwert des Kraftstoffdruckes in dem Kraftstoffdruckspeicher 55. Darüber hinaus wirken bei einer Bewegung des Ankers auch Reibungskräfte, welche der Bewegung entgegenwirken. Ferner hat der Anker auch eine nicht vernachlässigbare Massenträgheit, welche bei Durchflussänderungen im  
35 Regulator keine sofortige Positionsänderung des mit dem Anker verbundenen Ventilstößels zulässt, der den freien Querschnitt

für den Durchfluss von Kraftstoff von dem Kraftstoffspeicher 55 hin zu der Rückführleitung 57 mehr oder weniger frei gibt. Aufgrund dieser Kräfte weist der elektromagnetische Regulator eine Hysterese auf, wenn der Durchfluss des Kraftstoffes eine Dynamik aufweist, die dann ohne Eingriffe zu Kraftstoffdruck-  
5 Überhöhungen führen kann.

Ferner ist der Brennkraftmaschine eine Steuereinrichtung 6 zugeordnet, der wiederum Sensoren zugeordnet sind, die verschiedene Messgrößen erfassen und jeweils den Messwert der  
10 Messgröße ermitteln. Die Steuereinrichtung 6 ermittelt abhängig von mindestens einer der Messgrößen Stellgrößen die dann in Stellsignale zum Steuern der Stellglieder mittels entsprechender Stellantriebe umgesetzt werden. Die Sensoren sind ein  
15 Pedalstellungsgeber, welcher die Stellung eines Fahrpedals erfasst, ein Temperatursensor, welcher die Ansauglufttemperatur T\_IM erfasst, ein Kurbelwellenwinkelsensor, welcher einen Kurbelwellenwinkel erfasst und welchem dann eine Drehzahl zugeordnet wird, ein weiterer Temperatursensor 23, welcher eine  
20 Kühlmitteltemperatur TCO erfasst und ein Drucksensor 58, welcher den Kraftstoffdruck FUP\_AV in dem Kraftstoffspeicher 55 erfasst. Je nach Ausführungsform der Erfindung kann eine beliebige Untermenge der Sensoren oder auch zusätzliche Sensoren vorhanden sein.

Die Stellglieder sind beispielsweise Einlass- oder Auslassventile, die Einspritzventile 34, eine Zündkerze, eine Drosselklappe oder auch der elektromagnetische Regulator 56.

30 Zum Steuern des Kraftstoffdrucks in der Zuführeinrichtung 5 für Kraftstoff der Brennkraftmaschine ist ein Programm in der Steuereinrichtung 6 gespeichert, das während des Betriebs der Brennkraftmaschine geladen wird und anschließend abgearbeitet wird.

35 Das Ablaufdiagramm des Programms zum Steuern des Kraftstoffdrucks in der Zuführeinrichtung 5 wird im Folgenden anhand

von Figur 2 und dem dort dargestellten Ablaufdiagramm beschrieben. Das Programm wird in einem Schritt S1 gestartet. Dies erfolgt vorzugsweise erstmalig wenn die Brennkraftmaschine gestartet wird und das Programm wird dann in vorgegebenen Abständen oder nach vorgegebenen Ereignissen, wie beispielsweise nach einem vorgegebenen Drehwinkel der Kurbelwelle, erneut gestartet und abgearbeitet.

In einem Schritt S2 wird ein Sollwert FUP\_SP des Kraftstoffdruckes abhängig von der Motordrehzahl N, der einzuspritzenden Kraftstoffmasse MFF\_SP und dem Betriebszustand BZ der Brennkraftmaschine, z.B. homogener oder geschichteter Betrieb, ermittelt. In einem Schritt S3 wird der Istwert FUP\_AV des Kraftstoffdrucks, der von dem Drucksensor 58 erfasst wird, ermittelt und daraus auch der Gradient FUP\_DT\_AV des Kraftstoffdrucks ermittelt. Der Gradient, der auch als die zeitliche Ableitung bezeichnet wird, kann mittels eines beliebigen Approximationsverfahrens bestimmt werden. Er wird am einfachsten abhängig von zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Istwerten FUP\_AV des Kraftstoffdrucks ermittelt.

In einem Schritt S4 wird geprüft, ob der Betrag des Gradienten FUP\_DT\_AV des Kraftstoffdruckes kleiner ist als ein erster Schwellenwert THD\_1. Ist dies der Fall, ist dies ein Zeichen, dass die Dynamik des Durchflusses des Kraftstoffes durch den elektromagnetischen Regulator 56 gering ist. Ist die Bedingung des Schrittes S4 erfüllt, so wird in einem Schritt S5 das Stellsignal SG für den elektromagnetischen Regulator abhängig von dem Sollwert FUP\_SP des Kraftstoffdrucks ermittelt.

Ist die Bedingung des Schrittes S4 jedoch nicht erfüllt, so wird in einem Schritt S6 das Stellsignal SG abhängig von dem Sollwert FUP\_SP und dem Gradienten FUP\_DT\_AV ermittelt. Dabei wird vorzugsweise das Stellsignal bei einem Anstieg des Kraftstoffdruckes, gekennzeichnet durch einen positiven Gradienten FUP\_DT\_AV des Kraftstoffdruckes, verringert und bei

einer Verringerung des Kraftstoffdruckes, gekennzeichnet durch einen negativen Gradienten FUP\_DT\_AV des Kraftstoffdruckes, erhöht. Die Ermittlung des Stellsignals SG kann dabei vorzugsweise mittels eines Kennfelds abhängig von dem Gradienten FUP\_DT\_AV und dem Sollwert FUP\_SP des Kraftstoffdruckes durch Kennfeldinterpolation erfolgen.

In einem Schritt S7 wird dann das Stellsignal SG an den elektromagnetischen Regulator 56 ausgegeben. Durch das Stellsignal wird vorzugsweise die Bestromung des elektromagnetischen Regulators 56 beeinflusst, vorzugsweise wird dazu abhängig von dem Wert des Stellsignals SG die Pulsweitenmodulation eines Spannungssignals, mit dem der elektromagnetische Regulator 56 angesteuert wird, verändert.

In einem Schritt S9 wird das Programm dann beendet und nach einer vorgegebenen Wartezeitdauer oder Eintritt der oben genannten Bedingungen erneut in dem Schritt S1 gestartet. Alternativ kann die die Dynamik des Durchflusses des Kraftstoffes durch das Regulatorventil charakterisierende Größe auch direkt die Änderung des Durchflusses durch den elektromagnetischen Regulator 56 sein. Dieser Durchfluss kann beispielsweise mittels eines in der Rückführleitung 57 angeordneten Durchflusssensors erfasst werden und daraus ebenfalls ein entsprechender Gradient des Durchflusses ermittelt werden, der dann zur Ermittlung des Stellsignals SG herangezogen wird, wenn die Dynamik des Durchflusses einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet.

In Figur 3 ist zum einen der Verlauf des Istwertes FUP\_AV des Kraftstoffdruckes abhängig von dem Durchfluss Q durch den elektromagnetischen Regulator 56 dargestellt. Die zwei dargestellten hystereseförmigen Verläufe des Kraftstoffdruckes abhängig von dem Durchfluss Q sind für zwei verschiedene Werte des Stellsignals dargestellt. Bei dem für den Punkt P1 eingestellten Wert des Stellsignals SG gibt sich über die Zeitachse t bezogen auf die Punkte P1, P2' und P3 der dargestellte



zeitliche Verlauf des Istwertes FUP\_AV des Kraftstoffdruckes. Die Änderung des Kraftstoffdruckes des Istwertes des Kraftstoffdruckes FUP\_AV von dem Punkt P1, dem Punkt P2 ist jedoch größer als der durch den ersten Schwellwert THD1 in dem Schritt S4 für den Betrag des Gradienten FUP\_DT\_AV vorgegebenen Wertes. Somit wird dann das Stellsignal schon vor Erreichen des Punktes P2 verringert, wie dies ebenfalls in Figur 2 anhand des Punktes P2 in Abhängigkeit von der Zeit t und dem Stellsignal SG aufgetragen ist. Dadurch ergibt sich dann der Druckverlauf des Istwertes FUP\_AV über die Zeit entlang der Punkte P1, P2 und P3. Der Druckverlauf ist somit wesentlich gleichförmiger als bei den Punkten P1, P2' und P3.

Der Gradient FUP\_DT\_AV erhält dann besonders hohe betragsmäßige Werte, wenn ein Übergang des Betriebszustands der Brennkraftmaschine von einem Normalbetrieb in den Leerlauf oder das Schubabschalten, also der Abschaltung der Kraftstoffzufuhr in die Zylinder der Brennkraftmaschine über die Einspritzventile 34 oder umgekehrt erfolgt. In diesen Fällen ändert sich der Abfluss von Kraftstoff aus dem Kraftstoffspeicher durch die Einspritzventile sehr schnell, was dann bei nahezu unveränderter Förderleistung der Hochdruckpumpe 54 zu einer sehr starken Änderung des Durchflusses durch den elektromagnetischen Regulator 56 führt. Gerade bei diesen Betriebszustandsübergängen wird durch das Programm gemäß Figur 2 ein starkes Überschwingen oder Unterschwingen des Istwertes FUP\_AV des Kraftstoffdruckes wirksam verhindert. So kann dann auch gewährleistet werden, dass die Brennkraftmaschinen die Abgasemissionen der Brennkraftmaschine auch in diesen Betriebszuständen auf einem niedrigen Niveau gehalten werden können.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines Kraftstoffdrucks in einer Zuführeinrichtung (5) für Kraftstoff einer Brennkraftmaschine, wobei die Zuführeinrichtung (5) eine Kraftstoffpumpe (54) aufweist, die Kraftstoff in einen Kraftstoffspeicher (55) pumpt, der Einspritzventile (34) mit Kraftstoff versorgt und der mit einem Regulatorventil verbunden ist, das abhängig von einem Stellsignal (SG) den Kraftstoffdruck einstellt, mit folgenden Schritten:
  - das Stellsignal (SG) wird abhängig von einem gewünschten Kraftstoffdruck (FUP\_SP) und einer die Dynamik des Durchflusses des Kraftstoffes durch das Regulatorventil charakterisierenden Größe ermittelt und
  - das Regulatorventil wird mit dem Stellsignal (SG) angesteuert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die die Dynamik des Durchflusses des Kraftstoffes durch das Regulatorventil charakterisierende Größe die Änderung des Durchflusses ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die die Dynamik des Durchflusses des Kraftstoffes durch das Regulatorventil charakterisierenden Größe die Änderung des Kraftstoffdruckes ist.
4. Verfahren nach einen der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Regulatorventil ein elektromagnetischer Regulator (56) ist und dass durch das Stellsignal (SG) die Bestromung des elektromagnetischen Regulators (56) beeinflusst wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Steigen des Durchflusses, die Bestromung verringert wird und bei einem Sinken des Durchflusses die Bestromung erhöht wird.

- 5 6. Verfahren nach den Ansprüchen 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Steigen des Kraftstoffdruckes die Bestromung verringert wird und bei einem Sinken des Kraftstoffdruckes die Bestromung erhöht wird.

## Zusammenfassung

Verfahren zum Steuern eines Kraftstoffdrucks in einer Zuführungseinrichtung für Kraftstoff einer Brennkraftmaschine

5

Eine Zuführeinrichtung für Kraftstoff einer Brennkraftmaschine hat eine Kraftstoffpumpe, die Kraftstoff in einen Kraftstoffspeicher pumpt, der Einspritzventile mit Kraftstoff versorgt und der mit einem Regulatorventil verbunden ist, das abhängig von einem Stellsignal (SG) den Kraftstoffdruck einstellt. Der Kraftstoffdruck in der Zuführeinrichtung wird dadurch gesteuert, dass das Stellsignal (SG) abhängig von einem gewünschten Kraftstoffdruck (FUP\_SP) und einer die Dynamik des Durchflusses des Kraftstoffes durch das Regulatorventil charakterisierenden Größe ermittelt wird und dann das Regulatorventil mit dem Stellsignal (SG) angesteuert wird.

10

15

Figur 2

20

Fig 1

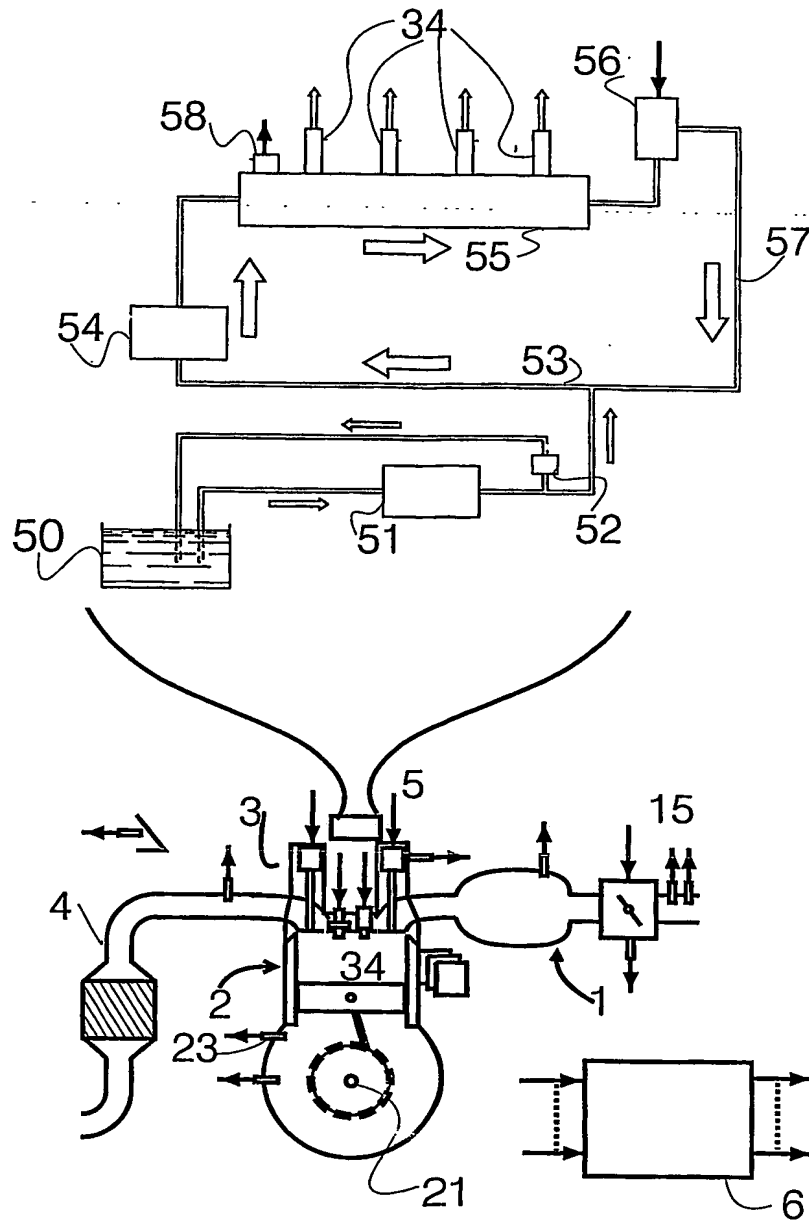


FIG 2

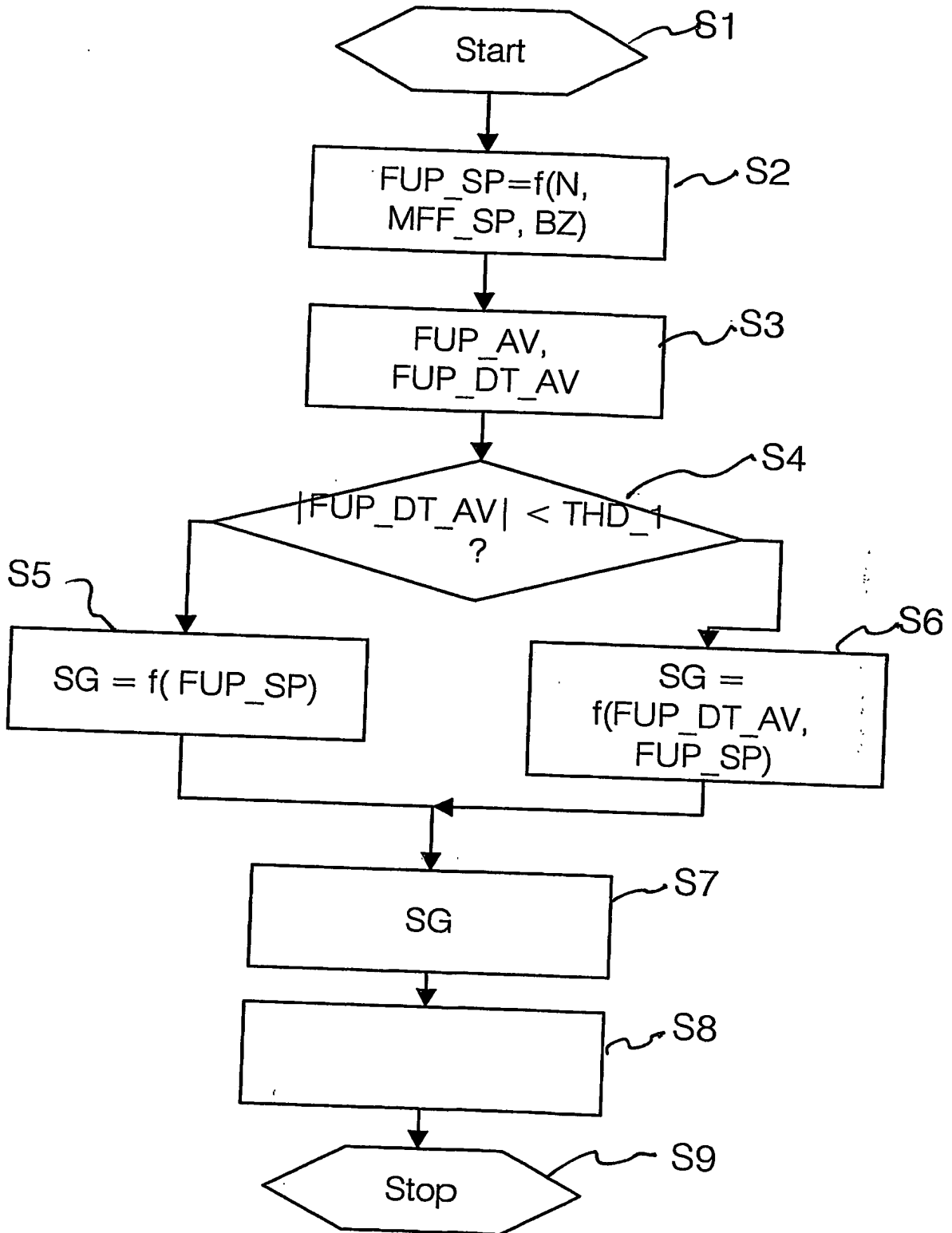
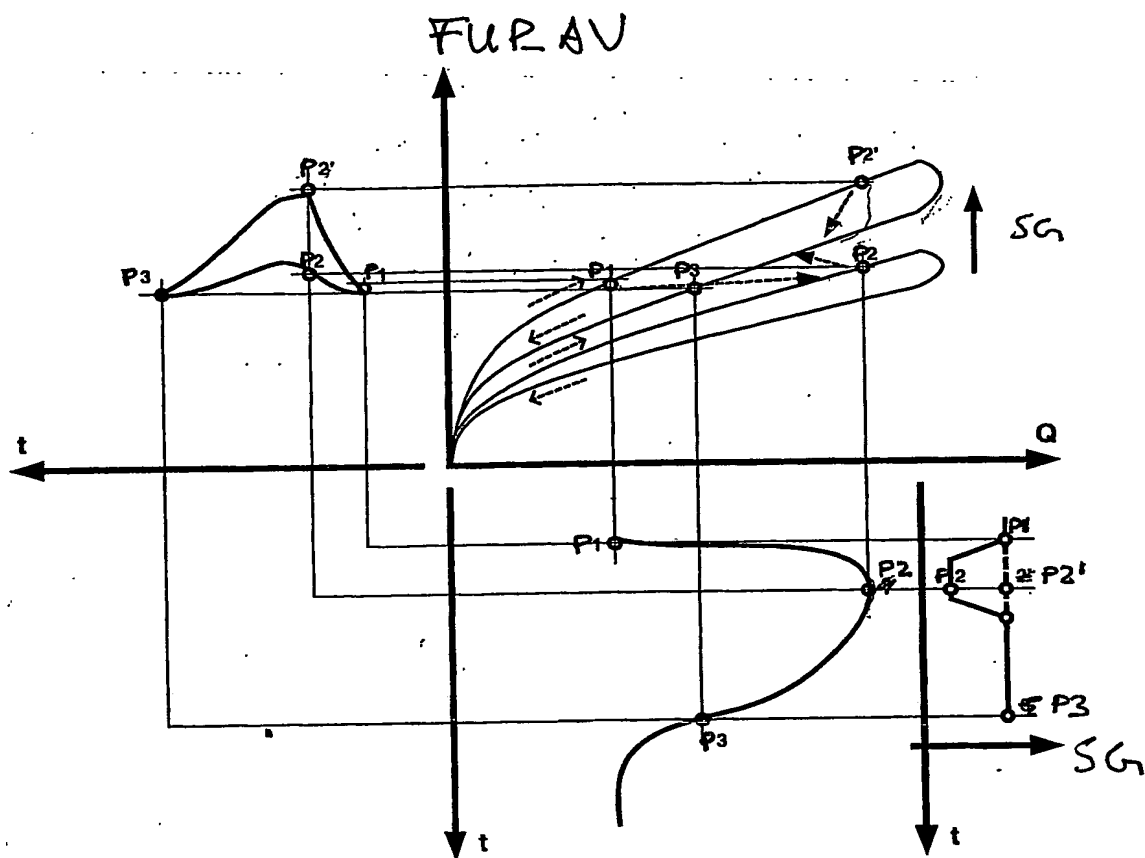


FIG 3



PCT/EP2004/002619

